

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»  
институт  
«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Г.Н. Чистяков  
подпись                      инициалы, фамилия

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»  
(код и наименование направления)

Проектирование электрических сетей 10 кВ дополнительного производства  
ООО «Юргинский машиностроительный завод»  
(наименование темы)

Руководитель \_\_\_\_\_ доцент кафедры ЭЭ, к.э.н. Н.В. Дулесова  
подпись, дата                      должность, ученая степень                      инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_ Л.А. Шрамко  
подпись, дата                      инициалы, фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_ А.В. Коловский  
подпись, дата                      инициалы, фамилия

Абакан 2017

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Хакасский технический институт – филиал ФГАОУ ВО  
«Сибирский федеральный университет»  
институт  
«Электроэнергетика»  
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_ Г.Н. Чистяков  
подпись                      инициалы, фамилия

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2017 г.

**ЗАДАНИЕ**  
**НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ**  
**в форме \_\_\_\_\_ бакалаврской работы**  
бакалаврской работы, дипломного проекта, дипломной работы,  
магистерской диссертации

Студенту Шрамко Людмиле Алексеевне  
(фамилия, имя, отчество)

Группа ЗХЭН12-01(З-12)

Направление 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код) (наименование)

Тема выпускной квалификационной работы Проектирование электрических сетей 10 кВ дополнительного производства ООО «Юргинский машиностроительный завод»

Утверждена приказом по институту № 145 от 28.02.2017 г.

Руководитель ВКР Н.В. Дулесова, доцент кафедры «Электроэнергетика», к.э.н.  
(инициалы, фамилия, должность и место работы)

Исходные данные для выпускной квалификационной работы

Генплан предприятия, ведомость электрических нагрузок предприятия

Перечень разделов выпускной квалификационной работы:

#### Введение

1. Краткая характеристика предприятия
2. Расчет электрической нагрузки предприятия
3. Выбор числа, мощности и типа трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций предприятия
4. Разработка вариантов схем электрических сетей 10 кВ
5. Выбор кабелей, питающих КТП
6. Выбор выключателей напряжением 10 кВ схемы внутреннего электроснабжения
7. Технико-экономическое сравнение вариантов
8. Проверка оборудования по токам короткого замыкания
9. Анализ качества напряжения цеховой сети и расчет отклонения напряжения для характерных электроприемников

#### Заключение

Перечень обязательных листов графической части:

1. Э1 Генерального плана завода.
2. Э2 Однолинейная схема сети 10 кВ.
3. Э3 Технико-экономическое сравнение вариантов.

Руководитель дипломного проекта

/ Н. В. Дулесова/  
(подпись, инициалы и фамилия)

Задание принял к исполнению

/ Л. А. Шрамко/  
(подпись, инициалы и фамилия студента)

«28» февраля 2017 г

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Проектирование электрических сетей 10 кВ дополнительного производства ООО «Юргинский машиностроительный завод» содержит 53 страниц текстового документа, 6 рисунков, 11 таблиц, 26 использованных источников, 3 листа графического материала.

ЭЛЕКТРОПРИЕМНИК, УРОВЕНЬ, ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ СЕТЬ, ОБОРУДОВАНИЕ, ПОДСТАНЦИЯ, ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ.

Объект проектирования – дополнительное производство ООО «Юргинский машиностроительный завод».

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения Юргинского машиностроительного завода.

К задачам проектирования электрической сети относится разработка конечного числа рациональных вариантов развития электрической сети, обеспечивающих надёжное, качественное и экономичное электроснабжение потребителей электроэнергией в нормальных и послеаварийных режимах.

В результате проектирования были определены:

- мощности, протекающие по участкам электрической сети;
- оптимальные сечения проводов;
- технико-экономические показатели для двух вариантов сети;
- токи короткого замыкания;
- показатели качества электроэнергии.

## **THE ABSTRACT**

Final qualification work on a subject "Design of electric networks of 10 kV of additional production of OOO Yurginsky Machine-Building Plant contains 53 pages of the text document, 6 drawings, 11 tables, 26 used sources, 3 sheets of graphic material.

ELECTRIC LOADINGS OF THE ENTERPRISE, CARTOGRAM OF ELECTRIC LOADINGS, KOPLEKTNY TRANSFORMER SUBSTATION, EQUIPMENT, ANALYSIS OF TENSION, CURVE.

Object of design – additional production of OOO Yurginsky Machine-Building Plant.

To problems of design of an electric network to belong development of final number of the rational options of development of an electric network providing reliable and high-quality power supply of consumers with the electric power in normal and disaster mode. The choice of the most rational option is made by economic criterion. Thus all options are led up previously to one level of quality and reliability of power supply. Ecological, social and other criteria at design of a network are considered in the form of restrictions.

As a result of design were defined:

- the capacities proceeding on sites of an electric network;
- the choice of transformers and schemes of substations is carried out;
- optimum section of wires;
- technical and economic calculation for two options of a network is made.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	6
1 Краткая характеристика объекта.....	7
2 Расчет электрической нагрузки предприятия.....	10
2.1 Приближенный расчет осветительных установок цехов методом удельной нагрузки на единицу площади цеха.....	10
2.2 Определение расчетных электрических нагрузок в целом по заводу методом коэффициентов расчетной активной нагрузки (в соответствии с РТМ 36.18.32.4-92).....	11
2.3 Расчет электрических нагрузок по предприятию.....	12
2.4 Построение картограммы электрических нагрузок цехов.....	13
3 Выбор числа, мощности и типа трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций предприятия.....	16
3.1. Методика выбора числа и мощности трансформаторов комплектных трансформаторных подстанций.....	16
4 Разработка вариантов схем электрических сетей 10 кВ.....	20
5 Выбор кабелей, питающих КТП.....	22
6 Выбор выключателей напряжением 10 кВ схемы внутреннего электроснабжения.....	24
7 Техничко-экономическое сравнение вариантов.....	25
8 Проверка оборудования по токам короткого замыкания.....	27
8.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ.....	27
8.2 Проверка оборудования в сети 10 кВ.....	30
8.3 Проверка сечения кабеля на термическую устойчивость к действию токов короткого замыкания.....	32
9 Анализ качества напряжения цеховой сети и расчет отклонения напряжения для характерных электроприемников.....	33
9.1 Анализ качества напряжения силовой сети.....	34
9.1.1 Самый мощный электроприемник.....	34
9.1.2 Самый удаленный электроприемник.....	40

Заключение.....	50
Список используемых источников.....	51

## ВВЕДЕНИЕ

Надежное и экономичное обеспечение промышленных предприятий электрической энергией надлежащего качества в соответствии с графиком ее потребления является важной задачей. Системы электроснабжения промышленных предприятий создаются для обеспечения питания электроэнергией промышленных электроприемников [1].

К системам электроснабжения предъявляются следующие требования:

1. Надежность системы и бесперебойность электроснабжения потребителей.
2. Качество электроэнергии на вводе к потребителю.
3. Безопасность обслуживания элементов СЭС.
4. Унификация (модульность, стандартизация).
5. Экономичность (включает в себя такие понятия, как энергоэффективность и энергосбережение).

Схема электроснабжения должна строиться так, чтобы все ее элементы постоянно находились под нагрузкой, а при аварии или плановом ремонте оставшиеся в работе могли принять на себя нагрузку, обеспечив после необходимых переключений, функционирование основных производств предприятия.

В условиях действующих предприятий актуальным является решение задач экономии электрической энергии, особенно в части нормирования и регулирования электроснабжения.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка системы электроснабжения 10 кВ Юргинского машиностроительного завода. В процессе проектирования решены следующие задачи: расчет параметров системы электроснабжения, выбор и проверка основного оборудования, технико-экономическое сравнение вариантов СЭС.

Спроектированная система электроснабжения должна соответствовать самым современным требованиям к системам, таким как надежность, экономичность, безопасность для человека и окружающей среды.



## **1 Краткая характеристика объекта**

История Юргинского машиностроительного завода началась в довоенные годы. 22 октября 1939 года постановление о строительстве машиностроительного завода в Юргинском районе было принято Государственным комитетом, при Совете народных комиссаров СССР.

В военные годы в Юргинский район были эвакуированы несколько заводов страны. Для фронта он изготавливал пушки для самоходных установок и танков, стволы к ним, чугунное и стальное литье.

В 1985 г. завод преобразован в «Производственное объединение «Юргинский машиностроительный завод», а затем – в общество с ограниченной ответственностью (ООО). В настоящее время Юрмаш является собственностью Сибирской Холдинговой компании ОАО «СХК». В начале декабря 2014 года состоялось закрытие сделки по приобретению компанией УралВагонЗавод-Логистик (через дочернее предприятие ООО «УВЗ-Сервис») 90% долей уставного капитала ООО «Юргинский машиностроительный завод».

Приобретение данного актива укладывается в общую схему развития бизнеса ООО «УВЗ-Логистик». Машиностроительный завод представляет собой хорошую ремонтную базу для вагонов УВЗ-Логистик и является предприятием с большим потенциалом, особенно в условиях государственной программы по импортозамещению.

Предприятие ведет следующие виды деятельности:

- проектирование и разработка оборудования и материалов для горношахтного производства;
- ремонтно-монтажные работы;
- посредническая деятельность;
- торговля.

Юргинский машиностроительный завод является производителем горно-шахтного оборудования Кузбасса и автокранов, это

многофункциональный комплекс производств – от заготовки ресурсов до выпуска изделий. Выпускаемое оборудование и продукция пользуются спросом не только в России, но и в соседних государствах ближнего зарубежья. Завод выполняет как частные, так и государственные, стратегически важные заказы.

Юргинский машзавод имеет наличие уникальной конструкторской базы, использует передовые технологии производства и управления, оснащены современным оборудованием, многофункциональный уровень контроля качества, собственный учебный центр обучения и переподготовки кадров. Основная задача ООО «Юргинский машзавод» – учесть пожелания заказчиков и удовлетворить их требования, изготавливая конкурентоспособное оборудование по мировым стандартам качества.

Девиз предприятия – Стремление к совершенству – стремление и применение новейших технологий, улучшение качества и модернизация производственного процесса, увеличение разнообразности и объема выпускаемой продукции. На предприятии введена и сертифицирована интегрированная система менеджмента, отвечающая международным стандартам ISO 9001 (качество), ISO 14001 (экология), OHSAS 18001(охрана труда).

Завод имеет развитую инфраструктуру и энергетические коммуникации, сеть автодорог и парк автомобильного транспорта, сеть складов, площадок для разгрузки и сортировки груза.

Предприятие представляет собой комплекс, включающий четыре завода: горношахтного оборудования, металлургического, грузоподъемной техники, мелкосерийного производства.

### **Продукция:**

Грузоподъемная техника:

- Самоходные краны КС-5871
- Автокраны на базе автомобилей Урал и КАМАЗ
- Краны КС-4671 на гусеничном ходу

- Погрузчики-экскаваторы БМ-1
- Фронтальные погрузчики ПФ-1
- Навесное и высокопроизводительное оборудование для промышленности.

Металлургическая:

- Стальные центробежные трубы
- Штамповки
- Раскатные кольца
- Прессовые поковки

**Дополнительное производство (цеха):**

Заводы:

- Горношахтного оборудования
- Metallургический завод
- Грузоподъемной техники
- Мелкосерийного производства.

Цеха:

- Механической, термической и гальванической обработки
- Механосборочный
- Цех покраски изделий
- Крановый
- Заготовительный
- Мотороремонтный
- Литейный
- Металло-кузнечный

## 2 Расчет электрической нагрузки предприятия

### 2.1 Приближенный расчет осветительных установок цехов методом удельной нагрузки на единицу площади цеха

Формула по определению расчетной осветительной нагрузки:

$$\begin{aligned} P_o &= F \cdot \delta \cdot K_{co} \cdot 10^{-3}, \\ Q_o &= P_o \cdot \operatorname{tg} \phi, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $F$  – освещаемая площадь,

$\delta$  – удельная плотность осветительной нагрузки, Вт/м<sup>2</sup>;

$K_{co}$  – коэффициент спроса;

$\operatorname{tg} \phi$  – коэффициент мощности.

Расчет осветительной нагрузки представим в таблице 1.

Таблица 1 – Расчет осветительной нагрузки

№ цеха	Наименование цеха	$E_{min}$ , Лк	$K_{co}$	$\delta$ Вт/м <sup>2</sup>	$F_{ц}$ , м <sup>2</sup>	$\operatorname{tg} \phi$	$P_{po}$	$Q_{po}$	$S_{po}$	$S_p$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Механосборочный	200	0,95	5,5	1868	1,73	10,7	18,6	21,5	686
2	Заготовительный	200	0,95	5,5	2022	1,73	11,6	20,13	23,2	336
3	Металло-кузнечный	200	0,95	5,5	1848	1,73	10,6	18,4	21,2	555
4	Крановый	200	0,95	5,5	1456	1,73	8,4	14,49	16,7	437
5	Литейный	200	0,95	5,5	2972	1,73	17,1	29,59	34,2	590
6	Мотороремонтный	300	0,95	8,2	1560	1,73	13,4	23,15	26,7	533
7	Термический цех	150	0,95	4,1	2644	1,73	11,3	19,62	22,7	1308
8	Цех покраски изделий	150	0,95	4,1	1410	1,73	6,0	10,46	12,1	518
9	Склад	100	0,6	2,7	1392	1,73	2,5	4,296	5,0	114
	<b>Итого осветительная нагрузка</b>				<b>17172</b>		<b>91,6</b>	<b>158,7</b>	<b>183,3</b>	<b>5046</b>

## 2.2 Определение расчетных электрических нагрузок в целом по заводу методом коэффициентов расчетной активной нагрузки (в соответствии с РТМ 36.18.32.4-92)

Расчет силовых электрических нагрузок выполним методом расчетных коэффициентов в соответствии с РТМ 36.18.32.4-92 [14,15].

Номинальная расчетная мощность трехфазных электроприемников:

$$P_{\text{расч}} = n \cdot P_{\text{ном}}, \quad (2)$$

где  $n$  - число электроприемников;

$P_{\text{ном}}$  - номинальная мощность одного электроприемника, кВт.

Средняя активная нагрузка за наиболее загруженную смену:

$$P_{\text{ср}} = K_{\text{акт}} \cdot P_{\text{расч}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{акт}}$  - коэффициент использования по активной мощности.

Средняя реактивная нагрузка за наиболее загруженную смену:

$$Q_{\text{ср}} = K_{\text{реакт}} \cdot P_{\text{ср}}, \quad (4)$$

где  $K_{\text{реакт}}$  - коэффициент реактивной мощности.

Эффективное число электроприемников определяем по формуле (5) в случае, когда расчетный  $K_{\text{акт}} < 0,2$ .

$$n_{\text{эф}} = \frac{P_{\text{расч}}}{P_{\text{ном}}}, \quad (5)$$

где  $P_{\text{ном}}$  - номинальная мощность  $i$ -го электроприемника.

Если  $K_{\text{акт}} \geq 0,2$ , то эффективное число электроприемников определяем по формуле (6).

$$\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{ср}}} \leq 1, \quad (6)$$

где  $P_{\text{ср}}$  - мощность самого крупного электроприемника в узле.

В определенном случае, когда отношение  $\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{ср}}} \leq 1,1$  ,

тогда принимаем  $K_{\text{ср}} = 1$  .

Расчетные мощности  $P_{\text{ср}}$  и  $P_{\text{max}}$  определяются по формулам:

$$P_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot K_{\text{ср}} \quad (7)$$

$$P_{\text{max}} = \sum_{i=1}^n P_i \quad (8)$$

где  $K_{\text{ср}}$  - расчетный коэффициент активной мощности, определяется по справочным материалам (табл. 1);

$K_{\text{рп}}$  - расчетный коэффициент реактивной мощности:

$$K_{\text{рп}} = 1 + \frac{1}{6 \cdot \sqrt{n_3}} \quad (9)$$

Полная расчетная нагрузка группы трёхфазных электроприемников определяется из выражения:

$$S_{\text{ср}} = \sqrt{P_{\text{ср}}^2 + Q_{\text{ср}}^2} \quad (10)$$

Расчетный ток:

$$I_{\text{ср}} = \frac{S_{\text{ср}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном}}} \quad (11)$$

где  $U_n$  - номинальное напряжение сети.

Среднее значение коэффициента использования:

$$\frac{1}{T} \int_0^T I(t) dt, \quad (12)$$

Расчетные значения  $P_p$ ,  $Q_p$ ,  $S_p$ ,  $I_p$  используются в дальнейшем для выбора силовых понижающих трансформаторов, устанавливаемых в цехе, а также коммутационной аппаратуры и питающих линий.

### 2.3 Расчет электрических нагрузок по предприятию

Исходными данными для расчета являются обобщенные электрические характеристики цехов предприятия.

Результаты сведены в таблицу 1. Расчетные коэффициенты по активной и реактивной мощности равны [2].

При расчете электрической нагрузки предприятия необходимо учесть нагрузку искусственного освещения цехов.

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Расчетная полная мощность цеха с учетом осветительной нагрузки:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}, \quad (13)$$

Таблица 2 – Расчет электрических нагрузок

Исходные данные										Расчетные величины		Эффективное число ЭП	Коэффициент расчетной нагрузки $K_p$	Расчетная мощность			Расчетный ток, А
Цех	Количество ЭП $n$ , шт.	Номинальная мощность, кВт		Коэффициент использования $K_{и}$	Коэффициент реактивной мощности		$K_{и} \cdot P_{ном}$	$K_{и} \cdot P_{ном} \cdot \text{tg } \varphi$	активная, кВт	реактивная, квар	полная, кВА						
		одного ЭП	общая		$\cos \varphi$	$\text{tg } \varphi$											
														$P_{ном}$	$P_{но м, mi}$	$P_{но м, ma x}$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16		
дополнительный производственный корпус:																	
Механосборочный	55	1	45	900	0,7	0,9	0,48	630	305	40	0,95	599	290	665	39,1		
Заготовительный	50	5	70	700	0,42	0,8	0,75	294	221	20	0,85	250	187	312	18,4		
Металлокузнечный	40	10	50	1000	0,4	0,75	0,88	400	353	40	1	400	353	533	31,4		
Цех покраски изделий	35	1	80	900	0,5	0,8	0,75	450	338	23	0,9	405	304	506	29,8		
Литейный	35	10	60	1049	0,45	0,85	0,62	472	293	35	1	472	293	555	32,7		
Крановый	50	1	50	830	0,4	0,75	0,88	332	293	33	0,95	315	278	421	24,7		
Термический	70	10	50	1500	0,6	0,7	1,02	900	918	60	1	900	918	1286	75,6		
Моторо-ремонтный	40	10	95	1000	0,4	0,75	0,88	400	353	21	0,95	380	335	507	29,8		
Склад	15	10	30	250	0,35	0,8	0,75	87,5	66	17	1	88	66	109	6,43		
итого цеховая	390		95	8129	0,49	0,78	0,79	3965	3138	171	0,95	3808	3023	4863	286		

## 2.4 Построение картограммы электрических нагрузок цехов

В целях экономии электроэнергии и затрат на создание схемы электроснабжения необходимо приблизить ТП к центру питаемых ими групп нагрузок.

Центр электрических нагрузок (ЦЭН) определяется:

$$x_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n p_i}, \quad y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n p_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n p_i}, \quad (14)$$



где  $p_i$ -мощность  $i$ -го электроприемника,  $x_i$  и  $y_i$  - его координаты (оси ординат можно наносить на план цеха или предприятия произвольно).

Картограмма нагрузок, представляет собой определение радиуса окружности каждого проектируемого [5].

Радиус окружности определяется из выражения:

$$\frac{P_{mi}}{m} = \frac{P_p}{X_{ц}} \quad (15)$$

где  $P_{mi}$  - расчетная нагрузка  $i$ -го цеха;  $m$  – масштаб для определения площади круга (постоянный для всех цехов предприятия).

Результаты расчетов сведены в таблицы 3,4.

Таблица 3 – Координаты центра электрических нагрузок предприятия

Наименование цеха	КТП	x	y	P <sub>m</sub>	P <sub>m</sub> *X	P <sub>m</sub> *Y	Q <sub>m</sub>	P <sub>m</sub> *X	P <sub>m</sub> *Y	P <sub>p</sub>		Q <sub>p</sub>	
										X <sub>ц</sub>	Y <sub>ц</sub>	X <sub>ц</sub>	Y <sub>ц</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Механосборочный	1	15,6	143	599	9336,6	85585	290	4521,9	41450,9	76,7	144,6	99,3	145
Металлокузнечный		168	147	400	67200	58800	353	59264,8	51856,7				
Заготовительн.	2	45,6	80	250	11395,4	19992	187	8546,6	14994	111	62,97	108	58,5
Литейный		145	86	472	68447,2	40596,3	293	42419,8	25159,3				
Мотороремонтный		111	15	315	35009,4	4731	278	30875,4	4172,3				
Цех покраски изделий	3	308	56	405	124740	22680	304	93555	17010	281	98,88	280	102,4
Крановый		260	148	380	98800	56240	335	87133,4	49599				
Склад		250	84	88	21875	7350	66	16406,3	5512,5				
Термический	4	177	17	900	159300	15300	918	162518,5	15609,1	177	17	177	17

Таблица 4 – Картограмма электрических нагрузок предприятия

№ по генплану	КТП	Наименование цеха	$P_m$	$m$	$R_i$	$D_i$
1	1	Механосборочный	599	2	9,8	19,6
3		Металло-кузнечный	400	2	6,3	12,6
2	2	Заготовительн.	250	2	6,3	12,6
5		Литейный	472	2	8,7	17,4
6		Мотороремонтный	315	2	7,1	14,2
8	3	Цех покраски изделий	405	2	8,03	16,06
4		Крановый	380	2	7,8	15,6
9		Склад	88	2	3,7	7,4
7	4	Термический	900	2	12	24

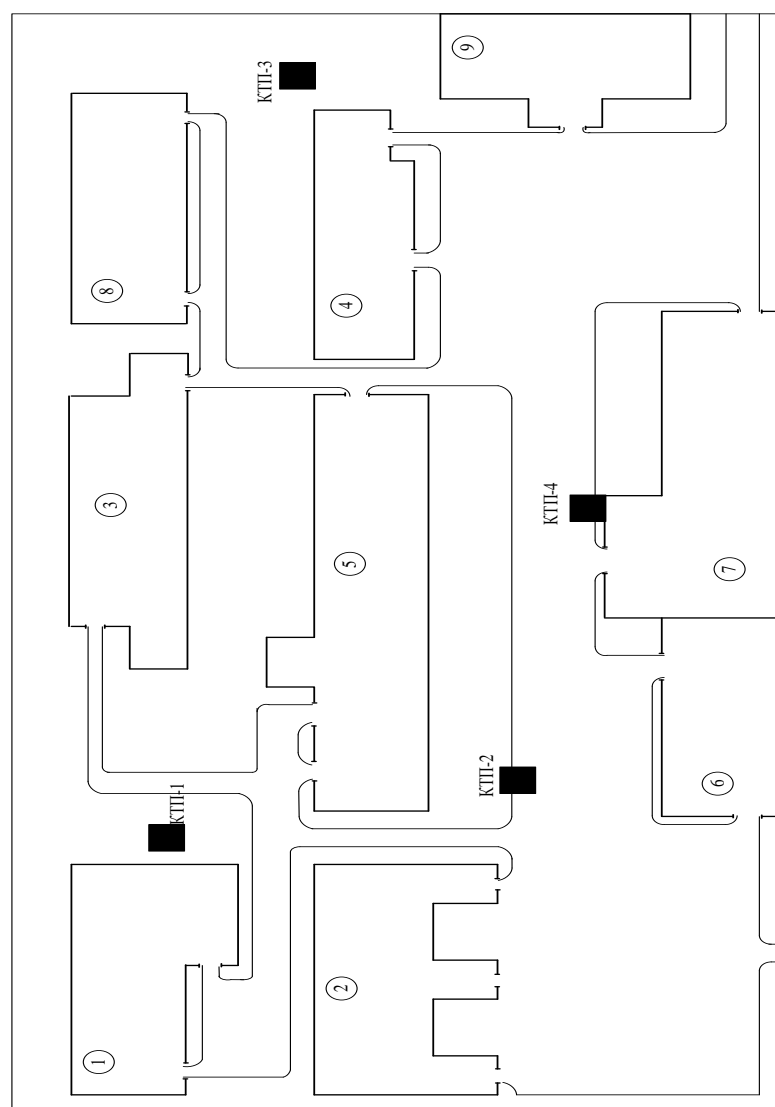


Рисунок 1 - Генплан с размещением КТП

### **3 Выбор числа, мощности и типа трансформаторов цеховых трансформаторных подстанций предприятия**

Выбор числа и мощности трансформаторной КТП обусловлен величиной и характером электрической нагрузки. При выборе числа и мощности трансформаторов следует добиваться экономически целесообразного режима их работы, обеспечения резервирования питания электроприемников при отключении одного из трансформаторов, стремиться к однотипности трансформаторов; кроме того, должен решаться вопрос об экономически целесообразной величине реактивной нагрузки, передаваемой в сеть напряжения до 1 Кв [11].

Двухтрансформаторные подстанции рекомендуется применять:

- при преобладании потребителей 1 категории;
- для сосредоточенной цеховой нагрузки и отдельно стоящих объектов общезаводского назначения (насосные и компрессорные станции) [21].

#### **3.1 Методика выбора числа и мощности трансформаторов комплектных трансформаторных подстанций**

Выбрав экономически целесообразную мощность трансформатора (трансформаторов) определяется необходимое количество таких трансформаторов для питания наибольшей активной нагрузки [3].

Произведем расчет для первой КТП:

$$\frac{P_{\text{акт}}}{n \cdot S_{\text{т}}} \leq K_{\text{з}}, \quad (16)$$

где  $P_{\text{акт}}$  - расчетная активная нагрузка данной группы трансформаторов за наиболее загруженную смену от низковольтных потребителей, кВт;

$n$  - коэффициент загрузки трансформаторов;

- принятая, исходя из удельной плотности нагрузки, номинальная мощность одного трансформатора, кВА.

Наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передать в сеть определяется по выражению [27]:

$$\frac{Q_{\text{max}}}{S_{\text{tr}}} = \dots \quad (17)$$

где  $Q_{\text{max}}$  - наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передавать в сеть напряжения до 1 кВ через трансформаторы;

$S_{\text{tr}}$  - номинальная мощность трансформаторов цеховой ТП.

Мощность устанавливаемых БК может быть определена как [27]:

$$S_{\text{БК}} = \dots \quad (18)$$

где  $Q_{\text{ср}}$  - суммарная расчетная реактивная нагрузка ниже 1 кВ за наиболее загруженную смену;

$Q_{\text{max}}$  - наибольшая реактивная мощность, которую целесообразно передавать в сеть напряжения до 1 кВ через трансформаторы.

По рассчитанному значению  $S_{\text{БК}}$  определяется величина ближайшей стандартной мощности БК.

Так как баланс получился меньше нуля, то установка средств КРМ на сторон ВН не требуется.

Для остальных КТП расчет аналогичен. Результаты расчета сведем в таблицу 5.

Таблица 5 - Выбор трансформаторов на подстанциях

№ КТП	Наименование цеха	P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , кВт	S <sub>нн</sub> , кВА	п, шт	Kз	Kпер	Q <sub>1р</sub> , кВА	Q <sub>к</sub> , кВАр	Тип тр-ра
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1+3	1019,9	680	1241	2	0,62	1,24	707	-28	ТМЗ-1000
2	2+5+6	1074,4	822	1362	2	0,68	1,36	838	-15	ТМЗ-1000
3	4+8+9	894,4	742	1166	2	0,58	1,17	748	-6	ТМЗ-1000
4	7	911,3	938	1308	2	0,65	1,3	939	-1	ТМЗ-1000

Для всех КТП коэффициенты перегрузки лежат в допустимых пределах.

Потери активной и реактивной мощности в трансформаторах определяются по формулам:

$$\text{---} \quad \text{---} \quad (19)$$

$$\text{---} \quad \text{---}$$

$$\text{---} \quad \text{---} \quad \text{---} \quad (20)$$

$$\text{---} \quad \text{---}$$

$$\text{---} \quad \text{---}$$

$$\text{---} \quad \text{---} \quad ,$$

$$\text{---} \quad \text{---} \quad ;$$

\_\_\_\_\_ кВар;

\_\_\_\_\_ ;

\_\_\_\_\_ кВар.

Нагрузка на стороне высокого напряжения КТП определяется из соотношения:

, (21)

, (22)

\_\_\_\_\_, (23)

,

,

\_\_\_\_\_,

,

\_\_\_\_\_,

Расчеты потерь мощности по формулам 22 - 26 сведены в таблицу 6.

Таблица 6 – Потери мощности

№ КТП	$\Delta P_{xx}$ , кВт	$\Delta P_{kз}$ , кВт	$I_{xx}$ , %	$U_{кз}$ , %	$\Delta P_T$ , кВт	$\Delta Q_T$ , кВар	$\Delta S_T$ , кВА	$P_p + \Delta P_T$ , кВт	$Q_p + \Delta Q_T$ , кВар	$S_p$ , кВА
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,9	10,8	1,2	5,5	12,12	66,35	67,4	1032,02	764,35	1273,6
2	1,9	10,8	1,2	5,5	13,82	67,8	69,2	1088,22	889,8	1405,7
3	1,9	10,8	1,2	5,5	10,94	61,39	62,4	905,34	803,39	1210,4
4	1,9	10,8	1,2	5,5	13,04	71,05	72,2	924,34	1009,05	1368,4

#### 4 Разработка вариантов схем электрических сетей 10 кВ

Вариант 1.

Радиальная схема питания КТП (рисунок 2) с глухим присоединением КТП к шинам ИП [7].

Вариант 2.

Лучевая схема питания КТП (рисунок 3).

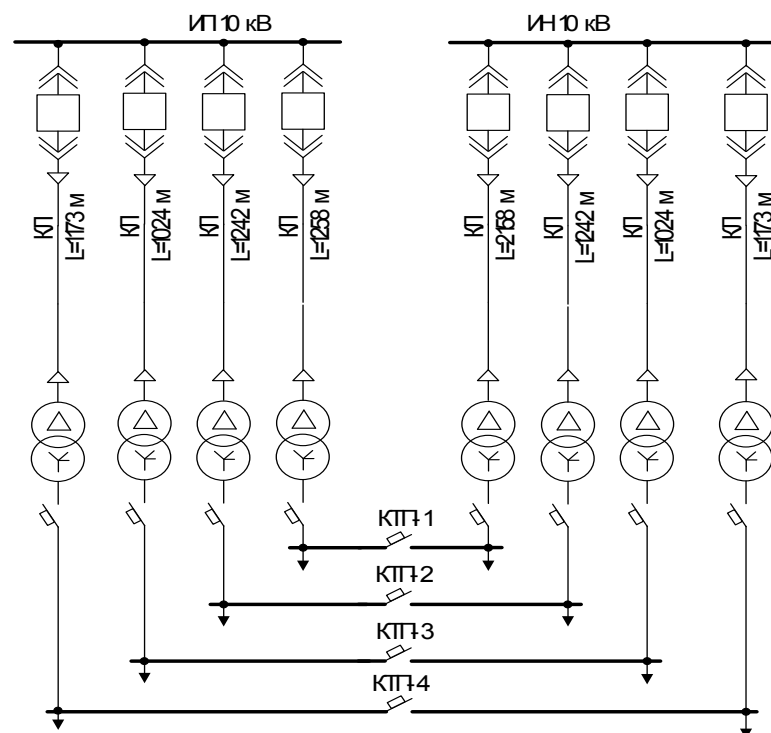


Рисунок 2 – Первый вариант схемы

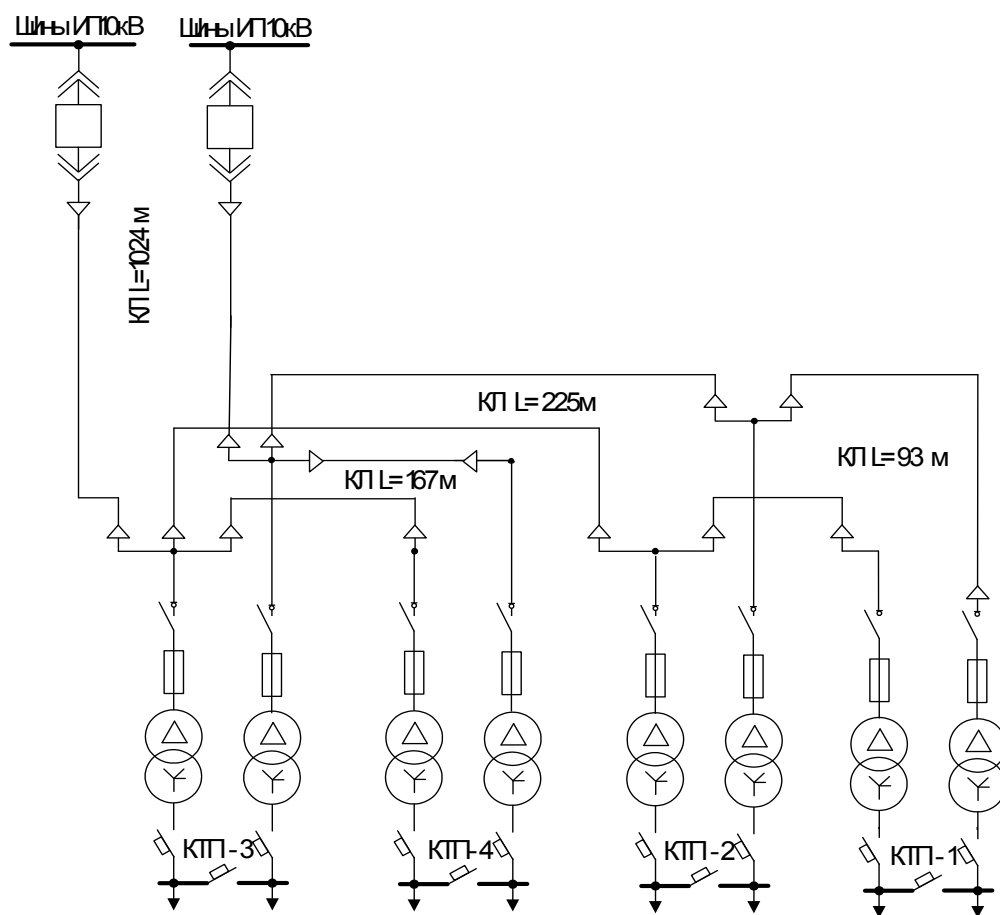


Рисунок 3 – Второй вариант схемы



## 5 Выбор кабелей, питающих КТП

Сечение кабелей напряжением 10 кВ определяется по экономической плотности тока и проверяется по допустимому току кабеля [9].

Условие выбора по току:

$$S \geq \frac{P}{J_{\text{э}}}, \quad (24)$$

где  $P$  - мощность, которая должна передаваться по кабельной линии в нормальном режиме.

Рассчитаем участок цепи 0-1 первого варианта:

$$S = \frac{P}{J_{\text{э}}} = \frac{36,8}{0,8} = 46 \text{ мм}^2, \quad (25)$$

где  $J_{\text{э}}$  - экономическая плотность тока [23], зависящая от типа кабеля и продолжительности  $T_{\text{м}}$  использования максимума нагрузки, постоянные времени нагрева  $T_{\text{м}} \geq 30$  мин - для кабелей напряжением 6 кВ и выше, питающих цеховые трансформаторные подстанции и распределительные устройства.

По результатам расчета по таблице 1.3.16 [1] выбирается кабель, имеющий ближайшее меньшее стандартное сечение по отношению  $F_{\text{э}}$ .

В послеаварийном режиме ток кабельной линии будет равен:

$$I_{\text{ав}} = 2I_{\text{рк}} = 2 \cdot 36,8 = 73,6 \text{ А}. \quad (26)$$

Потери напряжения в кабельной линии:

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{I_{\text{раб}} \cdot (r_{\text{уд}} + jx_{\text{уд}}) \cdot L}{U} \quad (27)$$

где  $I_{\text{раб}}$ ,  $U$  - расчетные активная и реактивная нагрузки;

$r_{\text{уд}}$ ,  $x_{\text{уд}}$  - удельные активное и индуктивное сопротивления кабеля [23].

Потери активной и реактивной мощности при максимальной нагрузке определяются по формулам:

$$\Delta P = 3 I_{\text{раб}}^2 r_{\text{уд}} n L 10^{-3} \quad \text{кВт}, \quad (28)$$

$$\Delta Q = 3 I_{\text{раб}}^2 x_{\text{уд}} n L 10^{-3} \quad \text{кВАр}. \quad (29)$$

По годовому расходу электроэнергии и максимальной активной мощности рассчитывается число часов использования максимальной нагрузки  $T_{\text{max}}$  [14]:

$$T_{\text{max}} = \frac{W_{\text{год}}}{P_{\text{max}}} \quad \text{часов}. \quad (30)$$

Число часов максимальных потерь электроэнергии является функцией от числа часов максимальной нагрузки:

$$T_{\text{max}} = f(T_{\text{max}}). \quad (31)$$

Потери электроэнергии равны:

$$\Delta W = \Delta P \cdot T_{\text{max}} \quad \text{кВт} \cdot \text{ч/год}. \quad (32)$$

Расчет для остальных участков аналогичен. Расчет питающих сетей по формулам 28 - 35 сведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Расчет кабельных линий

№	L, м	Spк, А	Ip, А	F <sub>з</sub>	Тип кабеля	Iдоп А	Iав, А	R <sub>0</sub> , Ом/м	X <sub>0</sub> , Ом/м	ΔU, %	ΔU <sub>доп</sub> %	кВт	кВар	МВт·ч/год
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Вариант 1														
1	1258	1273,6	36,8	26,3	ААШВ 3 х 35	115	73,5	0,89	0,095	4,6	< 5	9,1	0,97	29,45
2	1242	1405,7	40,6	29	ААШВ 3 х 35	115	81,2	0,89	0,095	4,78	< 5	11	1,17	32,57
3	1024	1210,4	34,9	25	ААШВ 3 х 35	115	69,9	0,89	0,095	4,5	< 5	6,7	0,71	26,75
4	1173	1368,4	39,5	28,2	ААШВ 3 х 35	115	79	0,89	0,095	3,4	< 5	9,8	1,04	37,85
Итого:												36	3,89	126,62
Вариант 2														
2-1	93	1273,6	36,8	26,3	ААШВ 3 х 35	115	73,5	0,89	0,095	0,46	< 5	0,7	0,07	2,2
3-2	225	2679,3	40,6	29	ААШВ 3 х 95	205	81,2	0,326	0,083	0,55	< 5	0,7	0,18	2,2
0-3	1024	5258,1	152	108	ААШВ 3 х 185	310	304	0,167	0,077	4,74	< 5	24	10,9	13
3-4	164	1368,4	41,5	29,6	ААШВ 3 х 35	165	83	0,89	0,095	0,75	< 5	1,5	0,16	5,8
Итого:												26,5	11	23,2

## 6 Выбор выключателей напряжением 10 кВ схемы внутреннего электроснабжения

Выключатели выбирают по номинальному току  $I_{ном} \geq I_{расч}$ , номинальному напряжению  $U_{ном} \geq U_{ном,у}$ , типу и роду установки [4].

Для защиты линий выбираем масляные выключатели серии ВВТЭ-М-10-20/630[23].

В качестве примера рассмотрим выбор выключателя для защиты КЛ<sub>0-1</sub> до КТП1.

$U_{номКЛ}=10$  кВ,  $I_{ном.КЛ}=36,8$  А.

Выбираем выключатель ВВТЭ-М-10-20/630 с  $U_{ном}=10$  кВ,  $I_{ном}=630$  А.

Для остальных линий выбор осуществляется аналогично, сведем

результаты в таблицу 8.

Таблица 8 – Выбор выключателей на 10 кВ

КЛ	U <sub>ном</sub> , кВ	I <sub>расч</sub> , А	Тип выключателя	I <sub>ном выкл</sub> , А	Количество
1	2	3	4	5	6
Вариант 1					
0-1	10	36,8	ВВТЭ-М-10-20/630	630	2
0-2	10	40,6	ВВТЭ-М-10-20/630	630	2
0-3	10	34,9	ВВТЭ-М-10-20/630	630	2
0-4	10	39,5	ВВТЭ-М-10-20/630	630	2
Вариант 2					
2-1	10	36,8	ВВТЭ-М-10-20/630	630	2
3-2	10	40,6	ВВТЭ-М-10-20/630	630	2
0-3	10	152	ВВТЭ-М-10-20/630	630	2
3-4	10	41,5	ВВТЭ-М-10-20/630	630	2

ВВТЭ-М-10-20/630 со следующими параметрами: U<sub>ном</sub>=10 кВ; I<sub>ном</sub>=630А; I<sub>ном.откл.</sub>=20 кА; предельный сквозной ток I<sub>скв</sub>=52 кА; предельный ток термической стойкости I<sub>пр.т.ст.</sub>=20 кА; собственное время выключателя t<sub>вкл</sub>=0,3 с, t<sub>откл</sub>=0,12 с [23].

## 7 Технико-экономическое сравнение вариантов

Экономическим критерием эффективности варианта является минимум приведенных затрат [25,26]:

$$З = E_H \cdot K + И, \quad (33)$$

где  $E_H = 1/T_{OK}$  – (зависит от срока возврата инвестиций и обратно пропорционален ему) [9];

K – единовременные капитальные затраты;

И – ежегодные эксплуатационные издержки.

Ущерб от перерывов электроснабжения не считаем, так как неизвестна зависимость ущерба от качества электроэнергии [10].

Так как схемы электроснабжения отличаются лишь протяженностью КЛ и количеством выключателей, то вести полное технико-экономическое сравнение вариантов нецелесообразно. Проведем расчет только в отличающейся части.

При расчетах используем укрупненные показатели (табл. 8).

Определение издержек:

$$И = \frac{И_{\%} \cdot К}{100} + \Delta W \cdot В, \quad (34)$$

где  $И_{\%}$  - процентное отчисление на амортизацию, ремонт и обслуживание [12];

$В$  - стоимость потерь одного МВт/ч электроэнергии [8].

$И_1$

руб/год.

$И_2$

руб/год.

Таблица 9 - Расчет стоимости высоковольтного оборудования

Наименование	Тип	Цена, тыс.руб/(руб/м)	Кол-во, шт./м	Число параллельных линий	ВСЕГО тыс.руб
1 вариант					
КЛ	ААШв 3 х 35	[2]	4697	2	2123,044
Выключатели	ВВТЭ-М-10	[11]	8	-	308
ИТОГО:					2431,044
2 вариант					
КЛ	ААШв 3 х 35	226	257	2	116,164
	ААШв 3 х 95	380	225	2	171
	ААШв 3 х 185	600	1024	2	1228,8
Выключатели	ВВТЭ-М-10	38,5	8	-	308
ИТОГО:					1823,964

Определяем приведенные затраты:

$$Z_1 = 0,12 \cdot 2431044 + \text{руб/год,}$$

$$Z_2 = 0,12 \cdot 1823964 + \text{руб/год.}$$

Расхождение по затратам:

$$\frac{Z_1 - Z_2}{Z_2} \cdot 100\% = \frac{0,12 \cdot 2431044 - 0,12 \cdot 1823964}{0,12 \cdot 1823964} \cdot 100\% = 24,2\% > 5\% \quad (35)$$

Расхождение между затратами составляет  $24,2\% > 5\%$ , следовательно, варианты неравноценны и выбираем вариант 2 с наименьшими затратами.

## **8 Проверка оборудования по токам короткого замыкания**

### **8.1 Расчет токов короткого замыкания в сети 10 кВ**

Основной причиной нарушения нормального режима работы систем электроснабжения является возникновения КЗ в сети или в элементах электрооборудования [6,8].

Расчет токов короткого замыкания на напряжение 10кВ ведется в относительных единицах.

Схема замещения для выбранной радиально-магистральной схемы (рисунок 4).

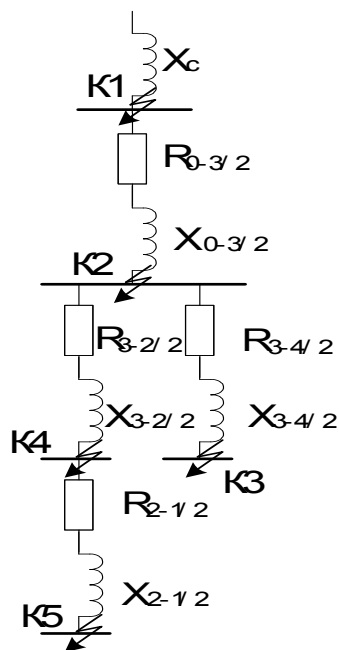


Рисунок 4 – Схема замещения

Сопротивление системы найдем по формуле:

$$\text{---}, \quad (36)$$

где — отключающая способность головного выключателя, МВА;

— базисное значение мощности, равное 100 МВА.

$$\text{---}, \quad (37)$$

где  $I_{\text{ном.откл.}}$ ,  $U_{\text{ном.}}$  — паспортные данные головного выключателя.

—

Базисное значение тока найдем по формуле:

$$\text{---}, \quad (38)$$

где  $U_{\text{баз}}$  – базисное значение напряжения, равное 10,5 кВ.

$$U_{\text{баз}} = 10,5 \text{ кВ}$$

Сопротивления элементов системы электроснабжения приводим к базисным уровням. Сопротивления линий определяются по выражениям:

$$R_{\text{линии}} = r_0 \cdot L, \quad (39)$$

$$X_{\text{линии}} = x_0 \cdot L, \quad (40)$$

где  $r_0$  и  $x_0$  - удельное активное и реактивное сопротивления линий, Ом/км;

$L$  - длина линии, км.

Расчет сопротивлений сведем в таблицу 10.

Ток короткого замыкания трехфазный определяется по формуле:

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{баз}}}{\sqrt{3} \cdot Z_{\Sigma}}, \quad (41)$$

где  $Z_{\Sigma}$  - суммарное сопротивление участка до точки короткого замыкания.

Рассмотрим точку К1 короткого замыкания:

$$Z_{\Sigma} = Z_{\text{линии}} + Z_{\text{трансформатора}}$$

$$Z_{\text{линии}} = R_{\text{линии}} + jX_{\text{линии}}$$

Ударный ток определяется по формуле:

$$I_{\text{уд}} = \sqrt{2} \cdot I_{\text{кз}}, \quad (42)$$



где  $K_{уд}$  - ударный коэффициент, определяемый в зависимости от соотношения  $\frac{U_{уд}}{U_{ном}}$ ,  $K_{уд}=1$  [9].

Дальнейший расчет токов короткого замыкания на напряжение 10 кВ сведем в таблицу 11.

Таблица 10 – Расчет сопротивлений

Участок	L, км	F, мм	$r_o$ , Ом/км	$x_o$ , Ом/км	R, о.е.	X, о.е.
2-1	0,093	35	0,89	0,095	0,075	0,006
3-2	0,225	95	0,326	0,083	0,067	0,017
0-3	1,024	185	0,167	0,077	0,155	0,144
3-4	0,164	35	0,89	0,095	0,1324	0,014

Таблица 11 – Расчет токов КЗ

Точка кз	$Z_{\Sigma}$ , о.е.	$X_{\Sigma}/R_{\Sigma}$	$K_{уд}$	$I^{(3)}_{кз}$ , кА	$I_{кз}$ , кА
1	2	3	4	5	6
K1	0,289	0	1	19,03	26,91
K2	0,369	4,66	1,48	14,91	21,08
K3	0,395	2,56	1,28	13,92	19,69
K4	0,386	3,33	1,36	14,25	20,15
K5	0,401	2,5	1,26	13,72	19,4

## 8.2 Проверка оборудования в сети 10 кВ

Проверим выключатели, защищающие кабельные линии напряжением 10 кВ. Проверку будем проводить по току КЗ и ударному току КЗ [13,17].

ВВТЭ-М-10-20/630.

По напряжению электроустановки:

$$U_{уст} \leq U_{ном}; \quad (43)$$

$$10 \text{ кВ} < 10 \text{ кВ}.$$

По длительному току:

$$I_{РАБМАХ} \leq I_{НОМ}; \quad (44)$$

$$152A < 630A.$$

По несимметричному току отключения:

$$I_{П} \tau \leq I_{ОТКЛ}, \quad (45)$$

где  $I_{П} \tau \approx I_{П0} = I_{К}^{(3)};$

$$19,03кА < 20 кА.$$

По апериодической составляющей расчетного тока:

$$(\sqrt{2} \cdot I_{П\tau} + i_{a\tau}) \leq \sqrt{2} \cdot I_{ОТКЛНОМ} \cdot (1 + \beta_H / 100). \quad (46)$$

$$\tau = t_{РЗМІН} + t_{ОВ} = 0,01 + 0,01 = 0,02 \text{ с},$$

где  $t_{ОВ}$  - собственное время отключения выключателя с приводом;

$t_{РЗМІН}$  - условное наименьшее время срабатывания релейной защиты;

$\beta_H = 13\%$  - содержание апериодической составляющей.

$$i_{a\tau} = \frac{\sqrt{2} \cdot \beta_H \cdot I_{ОТКЛНОМ}}{100} = \frac{\sqrt{2} \cdot 13 \cdot 20}{100} = 3,68 \text{ кА}.$$

$$\sqrt{2} \cdot 19,03 + 3,68 < \sqrt{2} \cdot 20 \cdot 1,13$$

$$30,6 < 31,96$$

По предельному сквозному току короткого замыкания на электродинамическую устойчивость:

$$I_{П0} \leq I_{ПРСКВ};$$

$$19,03кА \leq 52 кА;$$

$$i_y \leq i_{ПРСКВ}; \quad (47)$$

$$26,91 \text{ кА} \leq 52 \text{ кА}.$$

По допустимому току термической устойчивости:

$$B_K \leq I_T^2 \cdot t_T; \quad (48)$$

где  $I_T$  и  $t_T$  - ток и время термической устойчивости.

$$B_K = I_{\Pi 0}^2 \cdot (t_{\text{откл}} + T_a), \quad (49)$$

где  $t_{\text{откл}} = 0,12 \text{ с}$  – время отключения линии;  $T_a = 0,015 \text{ с}$  – постоянная времени затухания апериодической составляющей тока КЗ.

$$B_K = 19,03^2 \cdot (0,12 + 0,015) = 48,9 \text{ кА}^2 / \text{с}.$$

$$I_T^2 \cdot t_T = 52^2 \cdot 4 = 10816 \text{ кА}^2 / \text{с}.$$

$$48,9 \text{ кА}^2 / \text{с} < 10816 \text{ кА}^2 / \text{с}.$$

Так как все рабочие токи КЛ меньше 630 А (табл. 6), то проверка по длительному току выполняется.

Так как все рассчитанные токи КЗ меньше 20 кА (табл.10), то проверка по номинальному току отключения выполняется.

Так как все рассчитанные ударные токи КЗ меньше 52 кА (табл.10), то проверка по предельному сквозному току КЗ на электродинамическую устойчивость отключения выполняется.

Выключатели подходят по результатам проверки.

### **8.3 Проверка сечения кабеля на термическую устойчивость к действию токов короткого замыкания**

Минимально допустимое сечение кабеля по термической стойкости определяется по выражению:

$$F_{\text{мин}} = \frac{I_{K1}^{(3)} \cdot \sqrt{T_a + t_{\text{откл}}}}{C_T} = \frac{19,03 \cdot 1000 \cdot \sqrt{0,015 + 0,12}}{95} = 73,6 \text{ мм}^2, \quad (50)$$

где  $T_a = \frac{X_\Sigma}{\omega \cdot R_\Sigma} = \frac{4,66}{314} = 0,015 \text{ с}$  - постоянная времени апериодической составляющей;  $t_{\text{откл}} = 0,12 \text{ с}$  - время отключения к.з. выключателем ВВТЭ-М-10-20/630.

$$C_T = 95 \frac{\text{А} \cdot \text{с}^{1/2}}{\text{мм}^2} - \text{термический коэффициент по справочным данным [5].}$$

Поскольку выбран кабель минимального сечения ААШв 3 х 35 т.е. сечение фазной жилы  $35 \text{ мм}^2$  и  $35 < 73,6$ , то кабель не прошел проверку по термической стойкости. Увеличим сечения кабелей до допустимых размеров ААШв 3 х 95.

## 9 Анализ качества напряжения цеховой сети и расчет отклонения напряжения для характерных электроприемников

Качество напряжение зависит от потерь напряжения в отдельных элементах питающей сети. Отклонения напряжения согласно ГОСТ не должны выходить в нормальном режиме работы, за пределы:

- 1)  $(-2,5 \div +5) \%$  от  $U_{\text{ном}}$  – для освещения.
- 2)  $(-5 \div +10) \%$  от  $U_{\text{ном}}$  – на зажимах двигателей.
- 3)  $(-5 \div +5) \%$  от  $U_{\text{ном}}$  – на зажимах остальных электроприемников.

Отклонение напряжения на каждом участке определяем по формуле:

$$\Delta U = \frac{P \cdot R}{U_{\text{ном}}}, \quad (51)$$

Отклонения напряжения будем рассчитывать в максимальном и минимальном режиме для самого мощного и самого удаленного электроприемника от ГПП [12,18].

По результатам расчетов строится эпюра отклонений напряжения (рисунок 5, 6).

Потери напряжения для разных элементов схемы находятся следующим образом:

Потери в трансформаторе:

$$\Delta U_{\text{тр}} = \frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{н}}} \cdot \Delta U_{\text{н}} \quad (52)$$

где  $\frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{н}}}$  - отношение фактической нагрузки одного трансформатора к его номинальной мощности в рассматриваемом режиме работы;

— — активная составляющая напряжения КЗ, %;

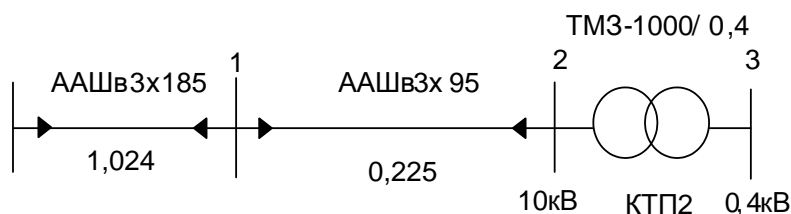
— — реактивная составляющая напряжения КЗ, %.

Для кабельных линий:

$$\Delta U_{\text{кл}} = \frac{S_{\text{ф}}}{S_{\text{н}}} \cdot \Delta U_{\text{н}} \quad (53)$$

## 9.1 Анализ качества напряжения силовой сети

### 9.1.1 Самый мощный электроприемник



**а) максимальный режим:**

$$U_{\text{ИП}} = 1,05 \cdot U_{\text{НОМ}} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ.}$$

$$U_0 = 10,5 \text{ кВ;}$$

**0-1:**

;

;

$$L = 1,024 \text{ км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$

$$I_{\text{max}} = 152 \text{ А.}$$

—

В;

В.

**1-2:**

;

;

$$L = 0,225 \text{ км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$

$$I_{\text{max}} = 77,3 \text{ А.}$$

—

В;

В.

**2-3:**

;

;

Коэффициент загрузки трансформатора: \_\_\_\_\_.

Активное напряжение:

\_\_\_\_\_.

Реактивное напряжение:

\_\_\_\_\_.

Потери в трансформаторе:

,

$$\Delta U_T = (\Delta U_T\% / 100) \cdot 10000 = (2,82/100) \cdot 10000 = 282 \text{ В};$$

В.

Отклонение напряжения:

_____	_____	,
_____	_____	,
_____	_____	.

**б) минимальный режим:**

$$U_{\text{ИП}} = U_{\text{НОМ}} = 10 \text{ кВ.}$$

**0-1:**

;

;

$L=1,024$  км;

Ом/км;

Ом/км;

Ток в минимальном режиме:  $I_{\min}$  А.

—

В;

В.

**1-2:**

;

;

$L=0,225$  км;

Ом/км;

Ом/км;

$I_{\min}$  А.

—

В;

В.

**2-3:**

;

;

Коэффициент загрузки трансформатора:

\_\_\_\_\_

;



Активное напряжение:

\_\_\_\_\_ .

Реактивное напряжение:

\_\_\_\_\_ .

Потери в трансформаторе:

,

$$\Delta U_T = (\Delta U_T\% / 100) \cdot 10000 = (1,41/100) \cdot 10000 = 141 \text{ В};$$

В.

Отклонение напряжения:

_____	_____	,
_____	_____	,
_____	_____	.

**в) послеаварийный режим:**

$$U_{\text{ИП}} = 1,05 U_{\text{НОМ}} = 10,5 \text{ кВ.}$$

$$U_0 = 10,5 \text{ кВ};$$

**0-1:**

;

;

$L=1,024 \text{ км};$

Ом/км;

Ом/км;

Ток в послеаварийном режиме:  $I_{ав}$  А.

—

В;

В.

**1-2:**

;

;

$L=0,225 \text{ км};$

Ом/км;

Ом/км;

$I_{ав}$  А.

—

В;

В.

**2-3:**

;

;

Коэффициент загрузки трансформатора:

$\frac{\text{_____}}{\text{_____}}$  .

Активное напряжение:

$\text{_____}$  .

Реактивное напряжение:

\_\_\_\_\_ .

Потери в трансформаторе:

,

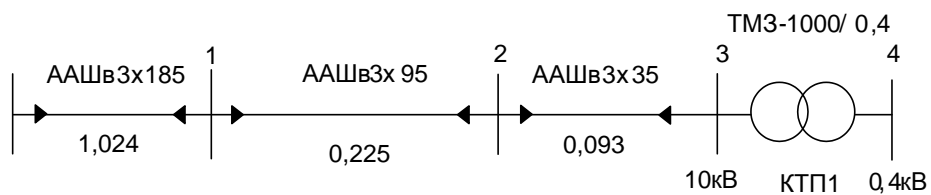
$$\Delta U_T = (\Delta U_T\% / 100) \cdot 10000 = (6,02/100) \cdot 10000 = 602 \text{ В};$$

В.

Отклонение напряжения:

\_\_\_\_\_,  
\_\_\_\_\_,  
\_\_\_\_\_.

### 9.1.2 Самый удаленный электроприемник



**а) максимальный режим:**

$$U_{ИП} = 1,05 \cdot U_{НОМ} = 1,05 \cdot 10 = 10,5 \text{ кВ.}$$

$$U_0 = 10,5 \text{ кВ};$$

**0-1:**

;

;

$L=1,024 \text{ км};$

$O_M/\text{км};$

$O_M/\text{км};$

$I_{\max} = 152 \text{ А}.$

—

B;

B.

**1-2:**

;

;

$L=0,225 \text{ км};$

$O_M/\text{км};$

$O_M/\text{км};$

$I_{\max} = 77,3 \text{ А}.$

—

B;

B.

**2-3:**

;

;

$L=0,093 \text{ км};$

$O_M/\text{км};$

$O_M/\text{км};$

$I_{\max} = 36,8 \text{ А}.$

—

В;

В.

**3-4:**

;

;

Коэффициент загрузки трансформатора: .

Активное напряжение:

—

.

Реактивное напряжение:

—

.

Потери в трансформаторе:

,

$$\Delta U_T = (\Delta U_T\% / 100) \cdot 10000 = (2,6/100) \cdot 10000 = 260 \text{ В};$$

В.

Отклонение напряжения:

—

—

,

—

—

,

—

—

,

—

—

.

**б) минимальный режим:**

$$U_{\text{III}}=U_{\text{ном}}=10 \text{ кВ.}$$

**0-1:**

;

;

$$L=1,024 \text{ км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$

Ток в минимальном режиме:  $I_{\text{min}}$  А.

—

В;

В.

**1-2:**

;

;

$$L=0,225 \text{ км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$

$I_{\text{min}}$  А.

—

В;

В.

**2-3:**

;

;

$$L=0,093 \text{ км;}$$

Ом/км;

Ом/км;

I<sub>min</sub>

А.

—

В;

В.

**3-4:**

;

;

Коэффициент загрузки трансформатора:

\_\_\_\_\_

;

Активное напряжение:

\_\_\_\_\_

.

Реактивное напряжение:

\_\_\_\_\_

.

Потери в трансформаторе:

,

$$\Delta U_T = (\Delta U_T\% / 100) \cdot 10000 = (1,3/100) \cdot 10000 = 130 \text{ В};$$

В.

Отклонение напряжения:

_____	_____	,
_____	_____	,
_____	_____	,
_____	_____	.

**в) послеаварийный режим:**

$$U_{\text{ИП}}=1,05U_{\text{НОМ}}=10,5 \text{ кВ.}$$

$$U_0=10,5 \text{ кВ;}$$

**0-1:**

;

;

$$L=1,024 \text{ км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$

Ток в послеаварийном режиме:  $I_{\text{ав}}$  А.

—

В;

В.

**1-2:**

;

;

$$L=0,225 \text{ км;}$$

$$\text{Ом/км;}$$



Ом/км;

$I_{ав}$

А.

—

В;

В.

**2-3:**

;

;

$L=0,093$  км;

Ом/км;

Ом/км;

$I_{ав}$

А.

—

В;

В.

**3-4:**

;

;

Коэффициент загрузки трансформатора:

\_\_\_\_\_

;

Активное напряжение:

\_\_\_\_\_

.

Реактивное напряжение

\_\_\_\_\_

.

Потери в трансформаторе:

,

$$\Delta U_T = (\Delta U_T\% / 100) \cdot 10000 = (5,2/100) \cdot 10000 = 520 \text{ В};$$

В.

Отклонение напряжения:

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

,

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

,

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

,

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

.

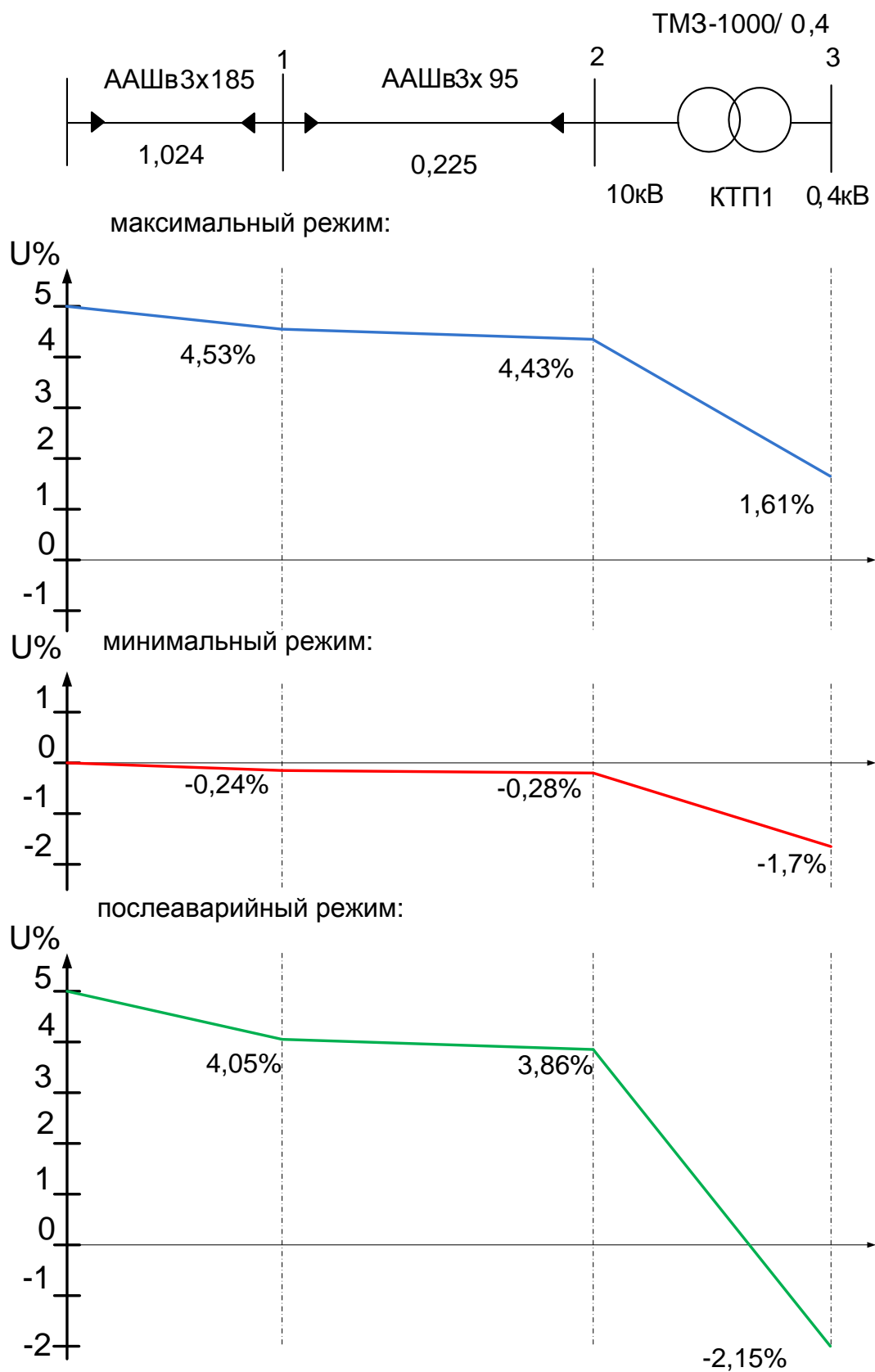


Рисунок 5 – Эпюры отклонений напряжения для самого мощного потребителя

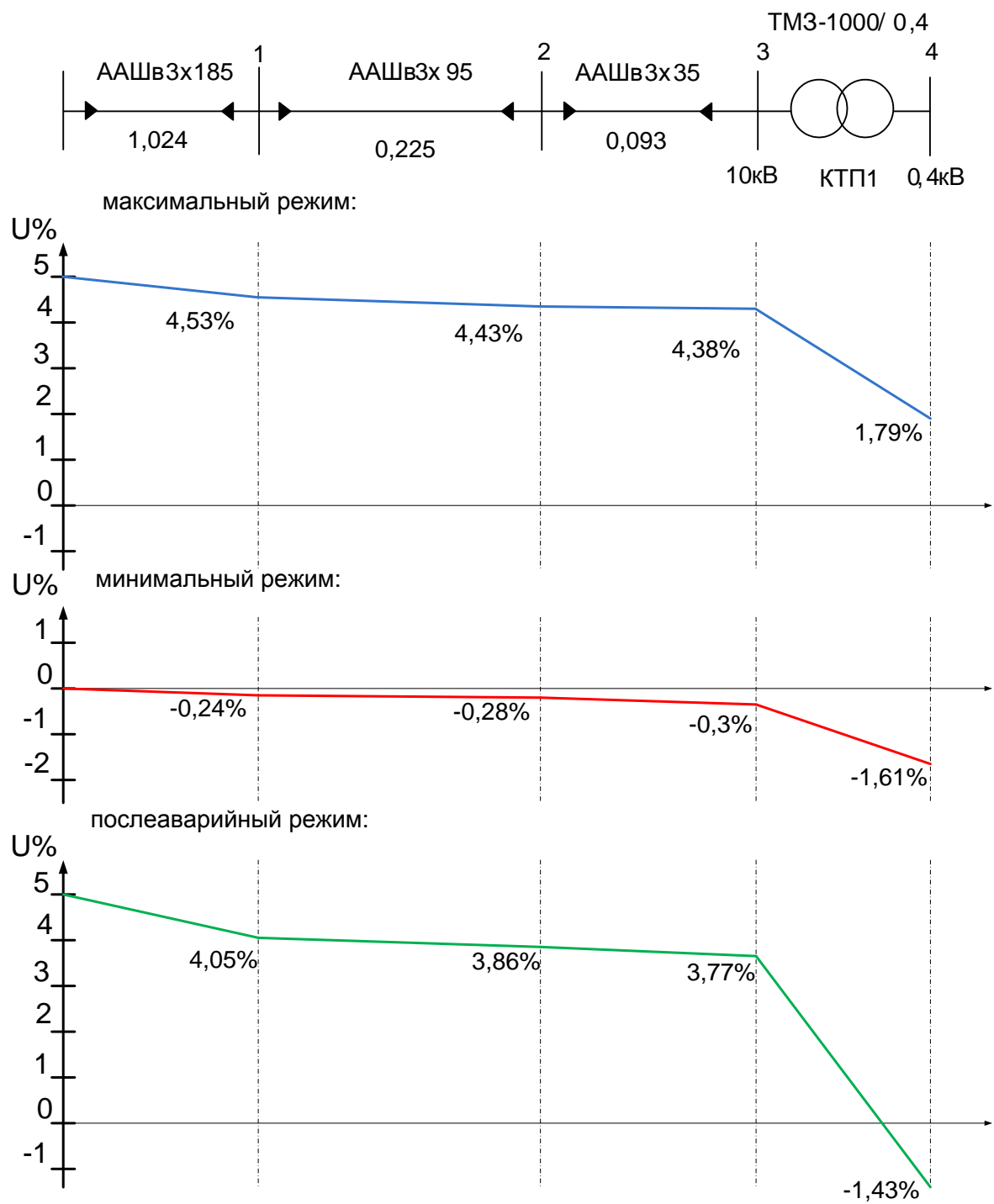


Рисунок 6 - Эпюры отклонений напряжения для самого удаленного потребителя

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В результате выпускной квалификационной работы была разработана система электроснабжения машиностроительного завода. На основе расчетных нагрузок завода была построена картограмма электрических нагрузок и определен ЦЭН. С учетом ЦЭН было выбрано место расположения КТП. В ходе разработки системы питания завода было проведено технико-экономическое сравнение устройства высшего напряжения (УВН). В результате принята лучевая схема. Были выбраны число и мощности КТП, способ канализации электроэнергии и сечения кабелей питающий КТП.

Для обеспечения надежности и безопасности применены средства автоматики и защиты отдельных элементов системы электроснабжения.

В результате проведенных расчетов была разработана система электроснабжения машиностроительного завода, отвечающая всем необходимым требованиям по бесперебойности и надежности электроснабжения с минимальными потерями электроэнергии.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Кудрин, Б. И. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст]: учебник для студентов высших учебных заведений / Б. И. Кудрин. – 2-е изд. – М.: Интермет Инжиниринг, 2006 (2007). – 672 с.: ил.
2. Кудрин, Б. И. Системы электроснабжения [Текст]: учебное пособие / Б. И. Кудрин. – М.: Академия, 2011. – 352с.: ISBN 978-5-7695-6789-6.
3. Гужов, Н. П. Системы электроснабжения [Текст]: учебник / Н. П. Гужов – Ростов н/Д: Феникс, 2011. – 382с.: ISBN 978-5-222177303.
4. Дипломное проектирование по специальности 140211.65 «Электроснабжение»: учеб. пособие / Л. Л. Латушкина., А. Д. Макаревич, А. С. Торопов, А. Н. Туликов .; Сиб. федер. ун-т, ХТИ - филиал СФУ. – Абакан: Ред.-изд. сектор ХТИ – филиала СФУ, – 2012. – 232 с.
5. Дулесова, Н. В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс]: курс лекций, Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Электрон. текстовые, граф. дан.( МБ ) – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2016. – 1 файл. – Систем. требования : Internet Explorer 7 / Mozilla Firefox 3.5 / Opera 9 или выше; скорости подключения к информ.-телекоммуникац. сетям – 10 Мбит/с; надстройки к браузеру – Adobe Reader 9 / Foxit Reader 4.3.1.
6. Хорольский, В. Я. Эксплуатация систем электроснабжения [Текст]: учебное пособие / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов – М.: ИНФРА-М, 2013. – 288с.: ISBN 978-5-16-009088-7.
7. Ополева, Г. Н. Схемы и подстанции электроснабжения. Справочник. // Г. Н. Ополева. – М.: ИД ФОРУМ: ИНФРА-М, 2010. – 480 с.
8. Плащанский, Л. А. Основы электроснабжения горных предприятий [Текст] : учеб. пособие/ Л. А. Плащанский. – М.: Издательство Московского государственного горного ун-та, 2006. – 116 с.: ил.
9. Конюхова, Е. А. Электроснабжение объектов: учеб. пособие для студ. / Е. А. Конюхова. – 4-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2007 (2001). – 320 с.

10. Экономика энергетики [Текст]: учебник для вузов / Н. Д. Рогалев, А. Г. Зубкова, И. В. Мастерова и др.; под ред. Н. Д. Рогалева. – М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 320 с.: ISBN 978-5-383-00324-4.
11. Дулесова, Н. В. Системы электроснабжения. Курсовое проектирование [Электронный ресурс]: учебн.-метод. пособие, Сиб. федер. ун-т, ХТИ – филиал СФУ. – Электрон. текстовые, граф. дан. (2,68 МБ). – Абакан : ХТИ – филиал СФУ, 2016. – 1 файл. – Систем. требования : Internet Explorer 7 / Mozilla Firefox 3.5 / Opera 9 и выше; скорости подключения к информ.-телекоммуникац. сетям – 10 Мбит/с; надстройки к браузеру – Adobe Reader 9 / Foxit Reader 4.3.1.
12. Хорольский, В. Я. Надежность электроснабжения, [Текст] : учеб. пособие / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов – М.: ИНФРА-М, 2013. – 128 с.: ISBN 978-5-16-009087-0.
13. Щербаков, Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление на предприятиях, [Текст] : учеб. пособие / Е. Ф. Щербаков, Д. С. Александров, А. Л. Дубов – М.: Форум, 2012. – 496 с.: ISBN 978-5-91134-338-5.
14. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок». – М.: Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский институт Тяжпромэлектро- проект, 1993 (2-я редакция).
15. Руководящий технический материал. Указания по расчету электрических нагрузок. РТМ 36.18.32.4-92. – М.: ВНИПИ Тяжпромэлектропроект, 1992. – 26с.
16. Правила устройства электроустановок (ПУЭ) 7-ое издание. Главы 1.1-1.2, 1.7-1.9, 2.4-2.5, 4.1-4.2, 7.1-7.2, 7.5-7.6, 7.10, раздел 6. – М.: Ростехнадзор, 2010. – 411 с.
17. Синенко, Л. С. Электроснабжение. Версия 1.0 [Электронный ресурс]: конспект лекций / Л. С. Синенко, Е. Ю. Сизганова, Ю. П. Попов. – Электрон. дан. (3 Мб). – Красноярск: ИПК СФУ, 2008. – (Электроснабжение: УМКД № 176-2007 / рук. творч. коллектива Ю. П. Попов). – ISBN 978-5-7638-1387-6 (комплекса), ISBN 978-5-7638-1390-6 (конспекта лекций).

18. Воропай, Н. И., Ковалев Г.Ф., Кучеров, Ю. Н. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике – М.: ЩЩЩ ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. – 212 с.

19. Ушаков, И. А. Курс теории надежности систем: учеб. пособие для вузов: доп. Мин. обр. РФ / И. А. Ушаков. – М.: Дрофа, 2008. –240 с.

20. Острейковский, В. А. Теория надежности: учеб.: рек. УМО/ В. А. Острейковский. -2-е изд., испр. – М.: Высш. шк., 2008. –464 с.

21. Лещинская, Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства / Т. Б. Лещинская, И. В. Наумов. – Москва: КолосС. 2008. – 650 с.

22. СТО 4.2-07-2014 Система менеджмента качества. Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности. – Взамен СТО 4.2-07-2012; дата введ. 09.01.2014. – Красноярск: ИПК СФУ, 2014. – 60 с.

23. Электронно-библиотечная система образовательных и просветительских изданий [Электронный ресурс] / режим доступа: <http://www.iglib.ru/>

24. Электронная библиотека учебников [Электронный ресурс] - Режим доступа: [student.am.net/content/category/1/32/41/](http://student.am.net/content/category/1/32/41/)

25. МРСК Сибири – Тарифы на услуги по передачи электрической энергии:- режим доступа [http://www.mrsk-sib.ru/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=1386&Itemid=2647&lang=ru24](http://www.mrsk-sib.ru/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=1386&Itemid=2647&lang=ru24).

26. ООО «СК-Энерго»: <http://www.sk-energo.energoportal.ru/vyklyuchatel-maslyanyj-vmp-10-630-822393.html>.